L-茶氨酸及其在动物营养领域的研究进展

彭思敏[1]　林　谦[2]　吴卫国[1*]
(1.食品科学与生物技术湖南省重点试验室，湖南农业大学食品科技学院，长沙 410128；2. 中国农业科学院麻类研究所，长沙 410205)

摘　要：*L*-茶氨酸是茶叶中的一种特征性非蛋白质氨基酸，因其具有改善食品风味、保护神经、抗肿瘤、抗疲劳和降血压等功效，目前多用于食品及医药保健领域，在动物营养领域的应用研究还很少。本文介绍了 *L*-茶氨酸的药代动力学特性、来源与制备途径，并重点对其在动物营养领域研究进展进行综述，在此基础上探讨 *L*-茶氨酸在饲料及养殖产业中可能的应用方向，以期为 *L*-茶氨酸在动物营养领域中的精准运用提供参考。

关键词：*L*-茶氨酸；药代动力学；动物营养；抗应激；免疫性能
中图分类号：S816. 7　　文献标识码：A　文章编号：

近年来，由于集约化饲养模式的广泛应用，以及只注重生产潜力而忽视抗逆性能的现代畜禽育种方向，致使动物在饲养过程中对各种应激的抵抗性明显降低。此外，为了预防疾病，提高畜禽的生长速度与饲料转化率，抗生素的滥用现象日趋严重，其导致的耐药性、药物残留等问题日渐突出。目前，全球多地已禁用或限用抗生素作为饲料添加剂使用，取而代之的是具有生物活性功能、绿色安全的各种天然植物提取物。其中，茶叶内的生物活性物质备受瞩目，如茶多酚、茶多糖和茶氨酸（theanine）等。

茶氨酸是日本学者酒户弥二郎于 1952 年于茶叶中发现并分离出的一种非蛋白质氨基酸，化学名为 N-乙基-γ-谷氨酰胺，分子式为 $CH_3CH_2NH\text{-}CO(CH_2)_2\text{-}CH(NH_2)\text{-}COOH$[1]。茶氨酸有 *D* 型和 *L* 型之分，但因不同构型在机体内代谢动力学的不同而使 *D*-茶氨酸的生物活性很低，*L*-茶氨酸的生物活性则高很多[2]。而自 *L*-茶氨酸被分离鉴定以来，国际上对其在医药、保健领域的应用研究层出不穷，其在保护神经、抗肿瘤、抗疲劳和降血压等方面的功效均已被证实[3]，但在动物营养领域的应用研究还很少，本文则从 *L*-茶氨酸的药代动力学特性、来源及其在动物营养领域的研究应用进展作一综述，以期为 *L*-茶氨酸在饲料工业中的精准运用提供理论支持。

1 *L*-茶氨酸的药代动力学特性

L-茶氨酸的结构（如图 1 所示）与谷氨酰胺类似[4]，对其在动物体内的吸收与代谢途径的研究表明：*L*-茶氨酸通过动物肠道刷状缘黏膜的钠离子偶联协同转运蛋白吸收，并通

收稿日期：2018-01-19
作者简介：彭思敏（1987-），女，湖南长沙人，博士研究生，从事功能性成分营养、加工研究。E-mail：610085241@qq.com
*通信作者：吴卫国，教授，博士生导师，E-mail: 1061051403@qq.com

过血液循环进入机体各组织器官[5-6]；大鼠经口灌胃 *L*-茶氨酸后 1 h，血清和肝脏中 *L*-茶氨酸的浓度急剧增加达到峰值，同时 *L*-茶氨酸透过血脑屏障，于 5 h 后在脑组织中达到浓度峰值，而在 24 h 后 *L*-茶氨酸在这些组织中完全消失[7]；*L*-茶氨酸经动物机体吸收后一部分主要在肾脏经酶促水解反应生成谷氨酸和乙胺，另一部分未被水解的 *L*-茶氨酸同乙胺等一起随尿液排出体外[8-9]。

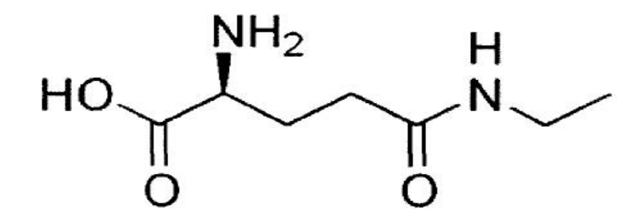


图 1 *L*-茶氨酸结构示意图

Fig.1 Schematic representation of *L*-theanine[4]

2 *L*-茶氨酸的来源与制备途径

目前，根据 *L*-茶氨酸的来源，可将 *L*-茶氨酸制备方法分为以下几类：茶叶或组培组织直接提取法、化学合成法和微生物转化法。

2.1 茶叶或组培组织直接提取法

L-茶氨酸在茶树根部合成，在生长期会迅速运输到地上部分的幼嫩组织或茶叶中[10-11]。在新梢芽叶中，茶氨酸占总游离氨基酸的 70%左右，占茶叶干重的 1%~2%[12]。另外，在人工调控培养条件下，通过对茶树细胞的离体培养或茶树愈伤组织进行培养，可实现茶氨酸在组织中的富集[13-14]。而从茶叶或组培组织中直接提取 *L*-茶氨酸，能够有效保障其原有的天然化学性质和功能属性，此方法也最有效、安全。目前常见的直接提取法有水浸提取法、沉淀法、离子交换树脂法和膜分离法等。但是，由于水浸提取法和膜分离法获得的茶氨酸纯度不高，沉淀法获得的茶氨酸产品中则易残留重金属离子和氯仿等有机溶剂，故而，利用 *L*-茶氨酸作为两性物质的特性来提取其的离子交换树脂法则更具优势和应用前景，且适用性广[4,15-16]。如袁华等[17]在使用离子交换树脂法从茶叶中提取茶氨酸时用 pH 为 7.38 的磷酸缓冲盐作洗脱剂，得到产品纯度为 99.41%的 *L*-茶氨酸。

2.2 化学合成法

化学合成 *L*-茶氨酸的方法主要有以下 3 种：1）*L*-谷氨酸-乙胺合成法。Sokoto 等[18]报道，将 *L*-谷氨酸在高温下脱水生成 *L*-吡咯烷酮酸，之后于室温下与乙胺反应 2 周，产物用热水和乙醇重结晶可得茶氨酸纯品，其产率为 35%左右。2）*L*-谷氨酸-γ-乙基酯合成法。王三永等[19]报道，将 *L*-谷氨酸-γ-乙基酯溶于吡啶，再与氯化三苯甲烷反应，所得混合物接着再与乙胺溶液反应，随后在乙酸溶液中回流得 *L*-茶氨酸，产率为 39%。3）γ-苄基谷氨酸

盐-苯甲烷氯化物合成法。有报道将γ-苄基谷氨酸盐（溶于吡啶）与氯化三苯甲烷反应，所得混合物再依次与乙胺、乙酸反应，一定条件下减压干燥后用热水和乙醇重结晶可得茶氨酸纯品，产率约为33.9%[20]。虽然化学合成法成本较低，简单且易规模化、工业化生产，但同时产生的副产物也较多，含有*D*-茶氨酸或其他一些毒性物质，故该法还有待进一步进行优化及安全性评估[3]。

2.3 微生物转化法

微生物转化法主要是通过微生物产生的谷氨酰胺合成酶（glutamine synthetase，GS，EC 6.3.1.2）、谷氨酰胺酶（glutaminase，EC 3.5.1.2）、γ-谷氨酰基转肽酶（γ-glutamyl transpeptidase，GGT，EC 2.3.2.2）或谷氨酰甲胺合成酶（glutamylmethylamide synthetase，GMAS，EC 6.3.4.12）在乙胺的参与下催化合成茶氨酸[21]。如图2所示，根据底物与反应的性质，可将上述4种酶催化的酶促反应分为2类：1）以谷氨酰胺为底物，基于谷氨酰转移反应的酶——谷氨酰胺酶和GGT；2）以谷氨酸为底物，需ATP参与供能的酶——GS和GMAS[3,22-25]。由于微生物转化法制备的茶氨酸均为*L*-茶氨酸，且副产物少，生产周期短，产品安全性高，被认为是目前食药用茶氨酸最有前景的生产方法[26]。

L-theanine：*L*-茶氨酸；*L*-Glutamine：*L*-谷氨酰胺；Glutaminase：谷氨酰胺酶；*L*-Glutamic Acid：*L*-谷氨酸；GS：谷氨酰胺合成酶 glutamine synthetase；ATP：三磷酸腺苷 adenosine triphosphate；Ethylamine：乙胺；*L*-Glutamic Acid γ-methyl ester：*L*-谷氨酸-γ-甲酯；GGT：γ-谷氨酰基转肽酶 γ-glutamyl transpeptidase；GMAS：谷氨酰甲胺合成酶 glutamylmethylamide synthetase。

图2 微生物转化法制备*L*-茶氨酸示意图

Fig.2 Schematic overview of *L*-theanine prepared by microbial transformation method[3]

3 *L*-茶氨酸在动物营养领域的研究进展

因*L*-茶氨酸具有改善食品风味、保护神经、提高学习与记忆能力、抗肿瘤、抗疲劳、抗氧化、提高机体免疫力和降血压等功效[27]，故多用于食品及医药保健领域。当前，其在

动物营养领域的应用研究甚少，但基于 *L*-茶氨酸上述诸多的生物学活性，其在饲料行业及养殖产业中可预见将有巨大的应用潜力，以下仅从抗应激、改善饲料适口性等方面阐述 *L*-茶氨酸在动物营养领域的研究进展及可能应用方向。

3.1 改善饲料风味及适口性

茶氨酸是茶叶鲜爽味的主要成分，且可缓和咖啡碱的苦味和茶多酚的苦涩味，与茶叶的口味品质呈正相关[10,27]。又由于茶氨酸易溶于水，且具有良好的安全性、稳定性以及无毒副作用等优点，使得其目前在食品添加剂领域广受青睐，已广泛应用于糕点、糖果、饮料、口香糖等几乎所有食品中，用于抑制苦味及改善食品风味[10]。有鉴于此，茶氨酸亦具有作为饲料添加剂来改善饲料风味及适口性，改变动物采食行为，进而提高畜禽生长性能的潜能。李宁[28]研究发现，饲粮添加 1 000 mg/kg *L*-茶氨酸能够显著提高肥育猪的日采食量和日增重，同时增加育肥猪的日采食时间和采食速率，起到缩短到达肥育目标时间的作用。童海鸥等[29]则以大鼠为模型进一步研究发现 *L*-茶氨酸能够促进大鼠对饲粮的采食及对氨基酸的吸收，进而调节大鼠的生长发育。

3.2 抗应激

应激根据应激原不同分为热应激、冷应激、断奶应激、抓捕应激、噪声应激等，而应激反应通常可造成机体的免疫系统失调或氧化-抗氧化平衡状态失衡[30]。近年来有关 *L*-茶氨酸调控动物应激机能的研究随着对谷氨酰胺抗应激研究的深入而备受关注。谷氨酰胺在动物机体中不仅具有供能及营养功效[31-34]，近来研究显示其还能提高机体免疫能力和抗氧化能力，进而起到抗应激的效果。有研究报道，当体内谷氨酰胺水平较低时，淋巴细胞增殖受限，而当谷氨酰胺水平回升到正常水平时，淋巴细胞的增殖明显增加，进一步研究发现谷氨酰胺能为淋巴细胞等免疫细胞提供呼吸底物及合成核苷酸的前体[35-37]；同时，谷氨酰胺还能影响机体细胞因子水平，调节免疫，如 Yassad 等[38]以脂多糖诱发小鼠腹膜炎，给予谷氨酰胺后可增加白介素-1β（IL-1β）及白介素-6（IL-6）的合成。而对于谷氨酰胺的抗氧化作用一般认为其是通过参与还原型谷胱甘肽的合成来实现的[39]。

由于 *L*-茶氨酸的结构与谷氨酰胺类似，又具有保护神经、镇静安神的作用[40]，因此可以推测 *L*-茶氨酸可能也有如谷氨酰胺一样的抗应激功效。汪丽伟等[41]采用单因素试验设计研究 *L*-茶氨酸在热应激条件下对蛋用仔公鸡生长性能及抗氧化能力的影响，结果表明，随着 *L*-茶氨酸添加量的增加，蛋用仔公鸡的生长性能有提高趋势，同时蛋用仔公鸡小肠、肝脏、胸肌、腿肌中过氧化氢酶活性显著提高，且各组织器官中丙二醛含量有不同程度降低；刘通[42]通过对断奶仔猪一次性腹腔注射 10 mg/kg BW 剂量的敌草快溶液成功诱导断奶仔猪机体产生氧化应激，其后发现于氧化应激断奶仔猪饲粮添加 1 000 mg/kg 的 *L*-茶氨酸

可改善断奶仔猪因氧化应激而造成的生长性能下降的态势；而揭红东等[43]则通过建立过氧化氢诱导的山羊瘤胃上皮传代细胞氧化应激模型发现 *L*-茶氨酸对上述氧化应激模型引起的山羊瘤胃上皮传代细胞凋亡具有一定的保护作用，这也与 Li 等[44]在 L02 细胞上获得的试验结果相一致。

3.3 作为畜禽免疫调节剂

当前研究多认为 *L*-茶氨酸这类烷基氨类物质能够激活机体非特异性免疫系统，促进免疫系统γδT 细胞的增殖和γ-干扰素的分泌[45-47]。而γδT 细胞是能够通过 T 细胞抗原识别受体来直接识别细菌、病毒、真菌和寄生虫等抗原成分进而参与机体免疫调节的一类 T 淋巴细胞亚群[48-49]。另外，机体免疫系统除了非特异性免疫系统外，还包括特异性免疫系统两者相辅相成，既保证机体健康，又防止过度或不当的目标炎症反应。而亦有报道指出茶氨酸对动物机体的特异性免疫功能具有改善效应[50]。表 1 总结了近年来 *L*-茶氨酸对动物机体免疫性能影响的相关研究报道，以期为 *L*-茶氨酸作为畜禽免疫调节剂开发运用提供参考。

表 1 *L*-茶氨酸对动物机体免疫性能的影响

Table 1 Effects of *L*-theanine on immune property of animal

编号 No.	研究者 Researcher	试验模型 Experiment model	剂量 Dose	试验效果 Experiment effect
1	汪丽伟[51]	蛋用仔公鸡	饲粮中分别添加 100、200、300 mg/kg	改善免疫器官指数，降低白球比
2	文慧[52]	黄羽肉仔鸡	饲粮中分别添加 100、200、400、800 mg/kg 日粮	提高肠道分泌型免疫球蛋白 A(sIgA)水平，增加血清溶菌酶活性及白介素-2（IL-2）和γ-干扰素水平
3	朱飞等[53]	产蛋后期岭南黄肉种鸡	饲粮中分别添加 100、200、400、800、1 600 mg/kg	提高血清免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M（IgM）和γ-干扰素水平
4	云龙等[54]	球虫攻毒爱拔益加（AA）肉鸡	饲粮中添加 800 mg/kg	提高血清溶菌酶活性，降低球虫攻毒肉鸡排泄物中卵囊数
5	火东晓[55]	脂多糖（LPS）刺激的黄羽肉鸡	饲粮中添加 800 mg/kg	提高空肠黏膜 sIgA 水平，增加血清 IL-6 水平

6	Hwang 等[56]	LPS 刺激的断奶仔猪	饲粮中添加 80 mg/kg	提高血清中白介素-10（IL-10）水平，降低血清中肿瘤坏死因子-α（TNF-α）和γ-干扰素水平
7	刘秋玲[57]	产肠毒大肠杆菌 E44813 感染小鼠	连续 30 d 分别灌喂 100、300、500 mg/kg	抑制 *TNF-α*、*IL-1β*等炎症因子表达
8	孙浪等[58]	草鱼	饲料中分别添加 0.4%、0.8%、1.2%	提高血清补体 3（C3）、补体 4（C4）和 IgM 水平
9	Saeed 等[59]	AA 肉鸡	饲粮中分别添加 100、200、300 mg/kg	改善脾脏、法氏囊指数，降低 *TNF-α*、*IL-2*、γ-干扰素等炎症因子 mRNA 在免疫器官中的表达水平

3.4 改善胴体品质

一方面，现代部分畜禽育种体系仍以追求高的动物生长速度与饲料转化效率为目标，这势必导致畜禽体脂过度沉积以及肉品质的下降[60]。而另一方面，近年来高品质畜禽产品的需求与消费量逐步攀升，这就要求养殖行业能持续为消费者生产和供应健康、安全、美味的高品质动物产品[61-62]。已有研究显示 *L*-茶氨酸具有降脂减肥的功效，如 Zheng 等[63]用浓度分别为 0.01%、0.02%、0.04%、0.08%和 0.16%的茶氨酸溶液饲喂雌鼠 16 周，发现浓度为 0.04%的茶氨酸溶液能减少体脂沉积，降低血清甘油三酯、未脂化脂肪酸及肝脏中脂肪含量；而用饲喂浓度为 0.028%的茶氨酸饲粮组小鼠的体重明显下降，腹脂量仅为对照组小鼠的 58%，血液中脂肪及胆固醇含量亦较对照组有大幅降低。Saeed 等[59]将 *L*-茶氨酸运用于肉鸡上的试验也得到了类似的结果，同时还证明 *L*-茶氨酸有改善肉鸡肉品质（肉色）的作用。有鉴于此，*L*-茶氨酸具有作为饲料添加剂来影响动物脂肪代谢，减少畜禽体脂沉积，进而改善胴体品质等的潜能。

4 小　结

综上所述，*L*-茶氨酸具有改善饲料风味及适口性、抗应激、改善畜禽胴体品质及作为畜禽免疫调节剂开发的潜能。但目前 *L*-茶氨酸在动物生产中的应用研究报道还相当有限，下一步应继续研究 *L*-茶氨酸在动物生产中的应用效果及具体作用的分子机制。此外，大量获得有效且成本较低的 *L*-茶氨酸产品是决定其能否在动物营养领域大规模应用的关键。

参考文献：

[1]　酒户弥二郎.*L*-茶氨酸的合成[J].日本农业化学会谈志,1950(23):262.

[2] DESAI M J,GILL M S,HSU W H,et al.Pharmacokinetics of theanine enantiomers in rats[J].Chirality,2005,17(3):154–162.

[3] SHARMA E,JOSHI R,GULATI A.L-Theanine:an astounding sui generis integrant in tea[J].Food Chemistry,2018,242:601–610.

[4] 孙帅.谷氨酰胺酶和γ-谷氨酰转肽酶酶法合成 *L*-茶氨酸的研究[D].硕士学位论文. 南京: 南京大学, 2013.

[5] KITAOKA S,HAYASHI H,YOKOGOSHI H,et al.Transmural potential changes associated with the *in vitro* absorption of theanine in the guinea pig intestine[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1996,60:1768–1771.

[6] YAMAMOTO S,KIMURA T,TACHIKI T,et al.The involvement of L-type amino acid transporters in theanine transport[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,2012,76(12):2230–2235.

[7] TERASHIMA T,TAKIDO J,YOKOGOSHI H.Time-dependent changes of amino acids in the serum,liver,brain and urine of rats administered with theanine[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1999,63(4):615–618.

[8] UNNO T,SUZUKI Y,KAKUDA T,et al.Metabolism of theanine,γ-glutamylethylamide,in rats[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,1999,47(4):1593–1596.

[9] TSUGE H,SANO S,HAYAKAWA T,et al.Theanine,γ-glutamylethylamide,is metabolized by renal phosphate-independent glutaminase[J].Biochimica et Biophysica Acta：General Subjects,2003,1620(1/2/3):47–53.

[10] 孟佩佩.食用茶氨酸提取精制与质量控制研究[D].硕士学位论文.广州:广东药学院, 2010.

[11] 徐茂.绿茶、普洱茶及乌龙茶中茶氨酸的研究[D].硕士学位论文. 重庆:西南大学, 2010.

[12] 宛晓春.茶叶生物化学[M].3 版.北京:中国农业出版社, 2003.

[13] MATSUURA T,KAKUDA T,KINOSHITA T,et al.Theanine formation by tea suspension cells[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1992,56(8):1179–1181.

[14] ORIHARA Y,FURUYA T.Production of theanine and other γ-glutamyl derivatives by *Camellia sinensis* cultured cells[J].Plant Cell Reports,1990,9(2):65–68.

[15] 郭甫成.*L*-茶氨酸的化学合成及其性质的基础性研究[D].硕士学位论文.广州:暨南大学, 2006.

[16] 帅玉英.γ-谷氨酰转肽酶的纯化和性质及其用于 *L*-茶氨酸的生物制备研究[D].博士学

位论文. 无锡:江南大学, 2011.

[17] 袁华, 高小红, 闫志国, 等.离子交换法从茶叶中提取茶氨酸[J].精细石油化工进展,2006,7(3):42–44.

[18] SOKOTO Y,HASHIZUME T,KISHIMOTO Y.Studies on the chemical constituents of tea[J].Nippon Nogeilkagaku Kaishhi,1949,23:269–271.

[19] 王三永,李晓光,李春荣,等.*L*-茶氨酸的合成研究[J].精细化工,2001,18(4):223–224.

[20] KAWAGISHI H,SUGIYAMA K.Facile and large-scale synthesis of *L*-theanine[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1992,56(4):689.

[21] MU W M,ZHANG T,JIANG B.An overview of biological production of *L*-theanine[J].Biotechnology Advances,2015,33(3/4):335–342.

[22] CHEN X Y,SU L Q,WU D,et al.Application of recombinant *Bacillus subtilis* γ-glutamyltranspeptidase to the production of *L*-theanine[J].Process Biochemistry,2014,49(9):1429–1439.

[23] MATSUURA S I,YOKOYAMA T,ISHII R,et al.An enzyme-encapsulated microreactor for efficient theanine synthesis[J].Chemical Communications,2012,48(56):7058–7060.

[24] LIU S,LI Y,ZHU J.Enzymatic production of L-theanine by γ-glutamylmethylamide synthetase coupling with an ATP regeneration system based on polyphosphate kinase[J].Process Biochemistry,2016,51(10):1458–1463.

[25] YAMAMOTO S,WAKAYAMA M,TACHIKI T.Cloning and expression of *Pseudomonas taetrolens* Y-30 gene encoding glutamine synthetase:an enzyme available for theanine production by coupled fermentation with energy transfer[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,2006,70(2):500–507.

[26] 李元, 刘珊, 祝俊.酶催化合成 *L*-茶氨酸的研究进展[J].食品科学,2017,38(23):298–304.

[27] 文慧.*L*-茶氨酸对小鼠巨噬细胞分泌细胞因子及肉仔鸡生产、免疫与抗氧化性能的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学, 2012.

[28] 李宁.*L*-茶氨酸对肥育猪生长性能、血液指标和采食行为的影响[D].硕士学位论文. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.

[29] 童海鸥, 李成舰, 颜琼娴, 等.*L*-茶氨酸对断乳大鼠血清及肝脏氨基酸谱的影响[J].食品科学,2016,37(15):247–252.

[30] 李洁.益生菌、葡聚糖对不同冷应激状态下贵妃雏鸡生理生化指标、免疫及 *HSP*70 表达的影响研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2012.

[31] SOUBA W W,STREBEL F R,BULL J M,et al.Interorgan glutamine metabolism in the tumor-bearing rat[J].Journal of Surgical Research,1988,44(6):720–726.

[32] WINDMUELLER H G.Glutamine utilization by the small intestine[J].Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology,1982,53:201–237.

[33] WU G Y,CHUNG-BOK M I,VINCENT N,et al.Distribution of phosphate-activated glutaminase isozymes in the chicken:absence from liver but presence of high activity in pectoralis muscle[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1998,120(2):285–290.

[34] WU G Y,MEIER S A,KNABE D A.Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs[J].The Journal of Nutrition,1996,126(10):2578–2584.

[35] ROTH E,SPITTLER A,OEHLER R.Glutamine:effects on the immune system,protein balance and intestinal functions[J].Wiener Klinische Wochenschrift,1996,108(21):669–676.

[36] GRIMBLE R F.Nutritional modulation of immune function[J].Proceedings of the Nutrition Society,2001,60(3):389–397.

[37] ALVERDY J C.Effects of glutamine-supplemented diets on immunology of the Gut[J].Journal of Parenteral and Enteral Nutrition,1990,14(Suppl.4):109S–113S.

[38] YASSAD A,HUSSON A,BION A,et al.Synthesis of interleukin 1 β and interleukin 6 by stimulated rat peritoneal macrophages:modulation by glutamine[J].Cytokine,2000,12(8):1288–1291.

[39] LACEY J M,WILMORE D W.Is glutamine a conditionally essential amino acid?[J].Nutrition Reviews,1990,48(8):297–309.

[40] 底晓静, 颜景奇, 赵燕, 等.*L*-茶氨酸通过乙酰胆碱受体多巴胺奖赏通路抑制尼古丁依赖[J].中国科学(生命科学),2012,42(10):775–786.

[41] 汪丽伟, 蔡海莹.茶多酚和 *L*-茶氨酸对热应激下蛋用仔公鸡生长性能及抗氧化能力的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(12):76–80.

[42] 刘通.日粮添加 *L*-茶氨酸对断奶仔猪的抗应激效果研究[D].硕士学位论文. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.

［43］ 揭红东, 韩奇鹏, 谭之良, 等.*L*-茶氨酸对过氧化氢诱导山羊瘤胃上皮传代细胞凋亡的影响[J].动物营养学报,2017,29(5):1582–1589.

[44] LI G L,KANG J J,YAO X Y,et al.The component of green tea,*L*-theanine protects human hepatic L02 cells from hydrogen peroxide-induced apoptosis[J].European Food Research and Technology,2011,233(3):427–435.

[45] KAMATH A B,WANG L S,DAS H,et al.Antigens in tea-beverage prime human Vγ2Vδ2 T cells *in vitro* and *in vivo* for memory and nonmemory antibacterial cytokine responses[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2003,100(10):6009–6014.

[46] BUKOWSKI J F,MORITA C T,BRENNER M B.Human γδ T cells recognize alkylamines derived from microbes,edible plants,and tea:implications for innate immunity[J].Immunology,1999,11(1):57–65.

[47] BUKOWSKI J F,PERCIVAL S S.*L*-theanine intervention enhances human γδ T lymphocyte function[J].Nutrition Reviews,2008,66(2):96–102.

［48］ 文慧, 魏时来, 张石蕊, 等.*L*-茶氨酸在动物体内的免疫调节及抗氧化作用研究进展[J].中国畜牧杂志,2012,48(21):84–87.

[49] CHEN J,FAN Y P,CUI B M,et al.HMGN2:an antitumor effector molecule of γδT cells[J].Journal of Immunotherapy,2018,doi:10.1097/CJI.0000000000000211.

［50］ 刘遵莹.基于 NLRs 受体信号通路的 *L*-茶氨酸对肠道黏膜非特异性免疫调节作用及其机制[D].硕士学位论文. 长沙:湖南农业大学, 2016.

［51］ 汪丽伟.绿茶提取物对蛋用仔公鸡生长性能、免疫力及抗氧化效应的研究[D].硕士学位论文. 合肥:安徽农业大学, 2013.

［52］ 文慧, 魏时来, 张石蕊, 等.*L*-茶氨酸对黄羽肉鸡生产性能和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2012,24(10):1946–1954.

［53］ 朱飞, 刘艳妍, 韩月, 等.*L*-茶氨酸对产蛋后期岭南黄肉种鸡免疫及抗氧化性能的影响[J].饲料研究,2017(12):13–17,31.

［54］ 云龙, 李瑞, 火东晓, 等.*L*-茶氨酸对球虫攻毒 AA 肉鸡血清溶菌酶活性和粪便中球虫卵囊数的影响[J].中国畜牧杂志,2016,52(13):65–68.

[55] 火东晓.*L*-茶氨酸对肉鸡免疫调节效果的研究[D].硕士学位论文. 长沙:湖南农业大学, 2014.

[56] HWANG H Y,PARK B K,LIM J H,et al.Effects of β-glucan from *Paenibacillus polymyxa* and L-theanine on growth performance and immunomodulation in weanling piglets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2008,21(12):1753–1759.

[57] 刘秋玲.*L*-茶氨酸对免疫应激小鼠肝脏保护作用及机制研究[D].硕士学位论文. 长沙:湖南农业大学, 2016.

[58] 孙浪, 鲁双庆, 肖调义, 等.饲料中添加茶氨酸对草鱼免疫和血清生化指标的影响[J].饲料研究,2012(6):63–65.

[59] SAEED M,YATAO X,HASSAN F U,et al.Influence of graded levels of L-theanine dietary supplementation on growth performance,carcass traits,meat quality,organs histomorphometry,blood chemistry and immune response of broiler chickens[J].International Journal of Molecular Sciences,2018,19(2):462,doi:10.3390/ijms19020462.

[60] PARK J H,KANG S N,SHIN D,et al.Antioxidant enzyme activity and meat quality of meat type ducks fed with dried oregano (*Origanum vulgare* L.) powder[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(1):79–85.

[61] ZHANG C,LUO J Q,YU B,et al.Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status[J].Meat Science,2015,102:15–21.

[62] LIN Q,ZHAO J F,XIE K,et al.Magnolol additive as a replacer of antibiotic enhances the growth performance of *Linwu* ducks[J].Animal Nutrition,2017,3(2):132–138.

[63] ZHENG G D,BAMBA K,OKUBO T,et al.Effect of theanine,γ-glutamylethylamide,on bodyweight and fat accumulation in mice[J].Animal Science Journal,2005,76(2):153-157.

L-Theanine and Its Research Advances in Animal Nutrition Field

PENG Simin[1] LIN Qian[2] WU Weiguo[1*]

(1. *Food Science and Biotechnology of Key Laboratory of Hunan Province, College of Food Science and Technology of Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China;* 2. *Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha* 410205, *China*)

*Corresponding author, professor, E-mail: 1061051403@qq.com (责任编辑 菅景颖)

Abstract: *L*-theanine is a characteristic non-protein amino acid in tea, and it is currently used in the field of food and medical care because it has the effect of improving food flavor, protecting nerves, anti-tumor, anti-fatigue and lowering blood pressure. The research on the application of *L*-theanine in the field of animal nutrition is little. Therefore, this paper mainly introduced the preparation, pharmacokinetics, and the application of *L*-theanine in animal nutrition field, so as to predict the prospects of *L*-theanine in feed and animal production industry and provide a reference for the accurate utilization of *L*-theanine in animal nutrition field.

Key words: *L*-theanine; pharmacokinetics; animal nutrition; anti-stress; immune performance